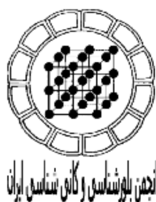
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شمارهٔ دوم، تابستان ۹۹، از صفحهٔ ۳۲۹ تا ۳۴۰



نوع کانی‌سازی و بررسی میانبارهای سیال ذخیره مس بلبلی۲ در شمال‌شرق سیرجان، جنوب‌شرق ایران

محمد صالحی تینونی[۱]، علی عابدینی[*۱]، علی اصغر کلاگری[۲]

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۲/۲۱، نسخه نهایی: ۹۸/۶/۲۳)

چکیده: ذخیره مس بلبلی۲ در ۱۱۰ کیلومتری جنوب‌غرب کرمان و در کمربند فلزایی دهج- ساردوئیه (کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان) واقع است. این ذخیره توسط سنگ‌های آذرین خروجی ائوسن (توف، جوش آتشفشانی، آندزیت و داسیت) و توده آذرین درونی الیگو- میوسن (گرانودیوریت) میزبانی می‌شود. این سنگ‌ها میزبان پهنه‌های دگرسانی پروپیلیتی، فیلیکی، سیلیسی و کربناتی (برآمده از سیال‌های کانی‌ساز) هستند. در این سنگ‌ها، کانی‌سازی درونزاد غالب بوده و بیشتر به صورت رگه- رگچه‌ای داربستی و انتشاری (کالکوپیریت، پیریت و مگنتیت) رخ داده است. این کانی‌سازی توسط انباشته‌های برونزاد چون هماتیت، گوتیت، مالاکیت، و آزوریت در بخش سطحی ذخیره پوشیده شده است. کانی‌های درونزاد اغلب بافت‌های رگه-رگچه‌ای داربستی، برشی، دانه‌ای و قشرگون را نشان می‌دهند. ریزدماسنجی در بلورهای کوارتز همزاد با کانی‌سازی چهار نوع میانبار سیال دو فازی مایع-گاز غنی از مایع (L-V)، دوفازی گاز-مایع غنی از گاز (L-V-S)، سه فازی مایع-گاز-جامد (V-L) و تک فازی گازی (V) را نشان می‌دهد. میانبارهای سیال مورد مورد بررسی دارای گستره دمای همگن شدگی ۴۲۷-۱۹۰ درجه سانتی‌گراد هستند. میانبارهای سیال L-V-S با محو بلور نمک طعام در گستره دمایی ۲۱۳ تا ۴۲۵ درجه سانتی‌گراد متناظر با شوری‌های در گستره ۵۰-۳۲ درصد وزنی نمک طعام همگن می‌شوند. میانبارهای دوفازی غنی از مایع (L-V) شوری‌هایی در گستره ۱۰- ۰٫۶ درصد وزنی معادل نمک طعام را نشان می‌دهند. بر پایه داده‌های ریزدماسنجی، جوشش، آمیختگی و سرد شدن ساده سیال‌های کانی‌ساز سازوکارهای مؤثر در تشکیل و گسترش این ذخیره به شمار می‌روند. سیال‌های کانسارساز به احتمال بسیار دارای خاستگاه ماگمایی و ماگمایی- جوی بوده‌اند. جایگاه زمین‌ساختی، ویژگی‌های بافتی و ساختی، انباشته‌های کانیایی دگرسانی و کانی‌زایی و داده‌های ریزدماسنجی رده‌بندی کانسنگ‌های بلبلی۲ به عنوان ذخیره مس نوع پورفیری را تأیید می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: *دهج- ساردوئیه؛ کانی‌سازی؛ بافت؛ دگرسانی؛ میانبارهای سیال؛ مس پورفیری.*

مقدمه

کمربند فلزایی دهج- ساردوئیه (کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان) با دارا بودن بیش از ۲۰۰ اثر کانی‌سازی مس (به صورت پورفیری و رگه‌ای) غنی‌ترین بخش قوس آتشفشانی- نفوذی پهنه ارومیه- دختر به شمار می‌رود (شکل ۱) [۱]. سنگ‌های آتشفشانی (بازالت، تراکی‌بازالت، آندزیت، تراکی‌آندزیت، داسیت و ریوداسیت) ائوسن تا الیگوسن با میان لایه‌های رسوبی به همراه سنگ‌های آذرین درونی (گرانودیوریت، گرانیت، دیوریت، کوارتزدیوریت و کوارتزمونزونیت) ائوسن میانی تا الیگوسن- میوسن مهمترین واحدهای سنگی حاضر در این کمربند هستند [۲، ۳]. دگرسانی‌های سریسیتی، آرژیلیک، اپیدوتی، پتاسیکی و پروپیلیتی همراه با اسکارنی شدن در سنگ‌های

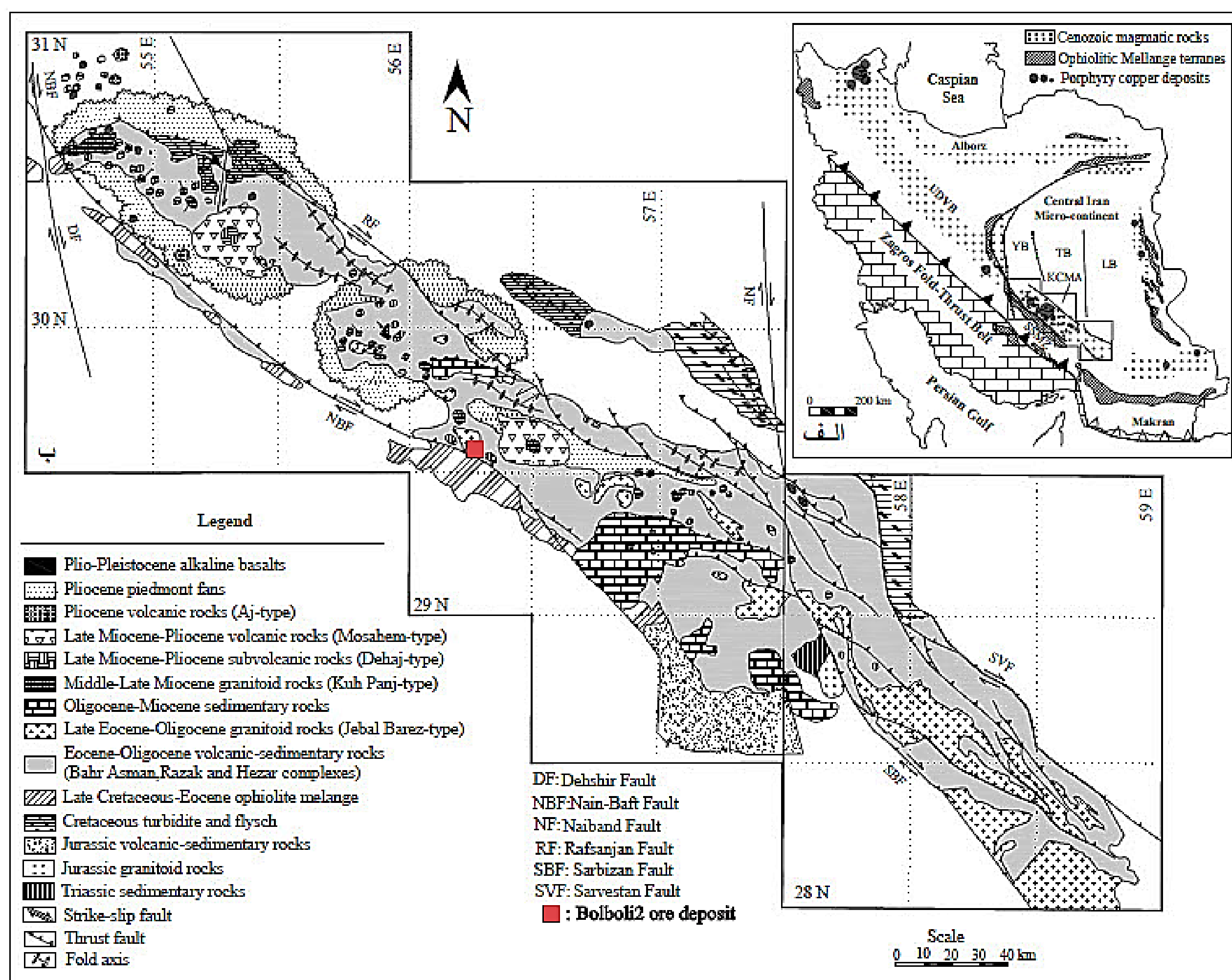
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۴۳۲۹۷۲۱۳۴، نمابر: ۰۴۴۳۲۷۷۶۷۰۷، پست الکترونیکی: abedini2020@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.5.7]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.329]

کربناتی، اغلب در ارتباط با سنگ‌های آذرین دیده می‌شوند [۴]. وجود پهنه‌های اکسیدی هماتیتی، گوتیتی و جاروسیتی از ویژگی‌های بی مانند این کمربند فلززایی به شمار می‌رود [۵، ۶]. ذخایر پورفیری سرچشمه رفسنجان، میدوک شهر بابک [۱]، دره‌زار رفسنجان، دره‌آلو بردسیر- رابر [۷] و تخت‌گنبد سیرجان [۸] از جمله ذخایر مس و مس- مولیبدن شناسایی شده در این کمربند هستند.

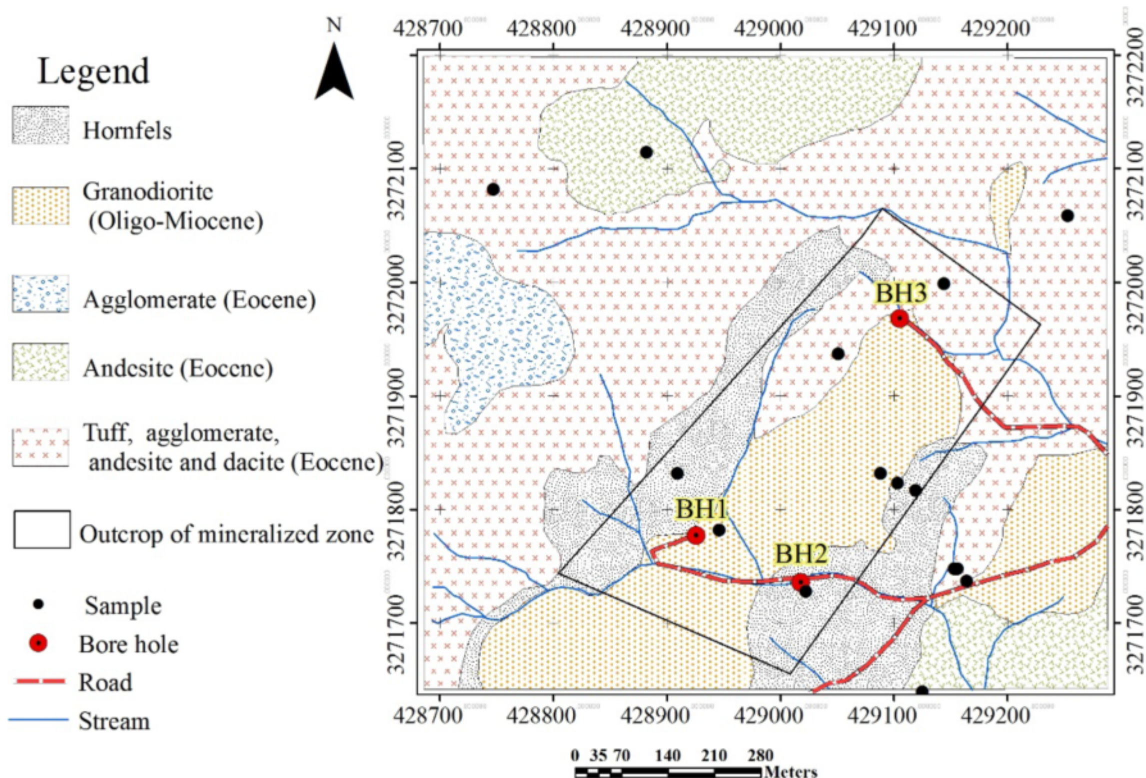
منطقه بلبلی در کمربند دهج- ساردوئیه قرار دارد. رخداد کانی‌سازی مس در این منطقه در دو موقعیت مجزا (با فاصله تقریبی ۲ کیلومتر) رخ داده که ندیمویچ [۷] آنها را ذخیره‌های بلبلی۱ و بلبلی۲ نامیده است. ذخیره بلبلی۱ نوع رگه‌ای دارد [۷]. ذخیره بلبلی۲ در فاصله ۷۰ کیلومتری شمال شرق سیرجان (جنوب غرب کرمان) واقع بوده و در سال‌های اخیر توسط شرکت معدنی چهارگنبد [۹] مورد اکتشافات اولیه قرار گرفته است. تاکنون، بررسی دقیق و جامعی از دیدگاه زمین‌شناسی اقتصادی بر ذخیره بلبلی۲ انجام نشده است. در این پژوهش، با استفاده از مشاهدات صحرایی، دگرسانی، کانه‌نگاری و بررسی میانبارهای سیال در کانی کوارتز همزاد با کانی‌سازی سولفیدی، اطلاعات جامعی از نوع و روند کانی‌سازی و ویژگی‌های فیزیکو- شیمیایی سیال‌های گرمابی مسؤول کانه‌زایی به دست آمده است.



شکل ۱ الف: نقشه پهنه‌های زمین‌ساختاری ایران و جایگاه کمربند دهج- ساردوئیه (کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان، KCMA) بر روی کمان آتشفشانی- نفوذی پهنه ارومیه- دختر (برگرفته از مرجع [۲]). ب: سنگ‌شناسی ساده شده کمربند دهج- ساردوئیه [۲] که جایگاه ذخیره بلبلی۲ بر آن نشان داده شده است.

زمین شناسی

کمربند دهج- ساردوئیه به طور عمده از سه مجموعه سنگ آتش‌فشانی بحر آسمان (ائوسن پیشین- میانی)، رازک (ائوسن میانی- پایانی) و هزار (الیگوسن) تشکیل شده است. سنگ‌های آتش‌فشانی مجموعه بحر آسمان (سنگ‌های آذرآواری و جریان گدازه‌ای با ترکیب اسیدی که توسط ردیف‌هایی از مواد آذرآواری آندزیتی - بازالتی تداوم یافته است) و رازک (سنگ-های آذرین آذرآواری و جریان‌های گدازه‌ای حدواسط و اسیدی) از نوع اشباع از سیلیس و با ترکیب مافیک تا فلسیک با گرایش حدواسط شبه تولئیتی-آهکی‌قلیایی هستند [۲]. مجموعه هزار (شامل ماسه سنگ توفی، جوش سنگ، توف، تراکی‌آندزیت، ایگنمبریت و لایه‌های نازک سنگ آهک و جوش آتشفشانی) برآمده از فعالیت ماگمایی زیراشباع از سیلیس و دارای فلدسپاتوئید فراوان با گرایش آهکی‌قلیایی است [۲، ۳]. واحدهای سنگی میزبان ذخیره بلبلی۲ (منطقه معدنی چهارگنبد) در ارتباط با مجموعه زارک تشکیل شده‌اند [۴]. این مجموعه در ناحیه معدنی چهارگنبد شامل آندزیت، بازالت، آندزی- بازالت، تراکی‌آندزیت، ریوداسیت، توف و جوش آتشفشانی با میان لایه‌های رسوبی است [۳، ۴ و ۱۰]. مجموعه سنگی یاد شده توسط سنگ‌های آذرین درونی الیگوسن- میوسن (دیوریت، کوارتزدیوریت، مونزونیت، کوارتزمونزونیت، گرانودیوریت و گرانیت) مورد هجوم قرار گرفته که پیامد آن رخداد سیستم‌های گرمابی از نوع رگه‌ای فراگرمایی چون کانسار چهارگنبد و مس پورفیری مانند کانسار تخت‌گنبد است. ذخیره بلبلی۲ از جمله ذخایر گرمابی برآمده از چنین فعالیت-های ماگمایی است. سنگ‌های درونگیر این کانی‌سازی شامل توف، جوش آتشفشانی، آندزیت و داسیت به سن ائوسن و گرانودیوریت پورفیری به سن الیگوسن- میوسن هستند (شکل ۲). گرانودیوریت پورفیری سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی در ذخیره بلبلی۲ است. بر اساس بررسی‌های انجام شده [۱۱، ۱۲]، توده‌های آذرین گرانودیوریتی ناحیه معدنی چهارگنبد از نوع حدواسط بوده و سرشت آهکی‌قلیایی نوع I دارند. سنگ‌های آذرین درونی میزبان ذخیره بلبلی۲ نیز چنین هستند. سنگ‌های آذرین درونی با چنین طبیعتی در جایگاه قوس‌های آتش‌فشانی ناشی از فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر پوسته قاره‌ای تشکیل می‌شوند [۱۳-۱۵].



شکل۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه ذخیره معدنی بلبلی۲ (برگرفته از مرجع [۱۰] با اندکی تغییرات).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.5.7]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.329]

روش بررسی

این پژوهش در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. بررسی‌های صحرایی شامل نمونه‌برداری از سنگ‌های آذرین درونی و آتش‌فشانی میزبان کانی‌سازی، رگه- رگچه‌های کانی-سازی شده و پهنه‌های دگرسانی به تعداد ۸۰ نمونه (سطحی و عمقی) است. از نمونه‌های برداشت شده، ۴۰ نمونه مناسب برای تهیه ۲۵ مقطع نازک و ۱۵ مقطع صیقلی انتخاب شدند. مقاطع تهیه شده با استفاده از میکروسکوپ نوری (عبوری- بازتابی) زایس مدل Axioplan2 در اداره کل زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی جنوب شرق (مرکز کرمان) بررسی شدند. ۹ نمونه از سنگ‌های دگرسان شده برای مطالعه دقیق‌تر پهنه‌های دگرسانی با استفاده از پراش سنج پرتو X (XRD) به مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (کرج) ارسال شدند (جدول ۱). ۱۰ نمونه دوبر صیقل از کانی کوارتز همزاد با رگه- رگچه-های کوارتزی- سولفیدی- اکسیدی برای بررسی‌های سنگ-نگاری و ریزدماسنجی تهیه شدند. بر اساس بررسی‌های سنگ-نگاری، سه تراشه مناسب برای تجزیه ریزدماسنجی انتخاب شده و اندازگیری‌های پارامترهای دمایی میانبارهای سیال بوسیله دستگاه گرمایش و سرمایش Linkam زامیس و میکروسکوپ نوری مدل ZEISS در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد. واسنجی دستگاه در طی عمل گرمایش تا دمای ۴۱۴°C برابر با ±۰٫۶ °C با ماده استاندارد نتیرات سزیم و طی سرمایش تا دمای ۹۴٫۳- درجه سانتی‌گراد برابر با ±۰٫۲ °C با مایع استاندارد هگزان بوده است.

نتایج و بحث

دگرسانی

سیال‌های گرمابی عامل رخداد دگرسانی‌های متنوعی در سنگ‌های میزبان (واحدهای توف، جوش آتشفشانی، آندزیت، داسیت و گرانودیوریت) رگه- رگچه‌های ذخیره بلبلی ۲ هستند. بر اساس بررسی‌های صحرایی، میکروسکوپی و روابط بین رگه-رگچه‌های کانه‌دار، سه مرحله زمانی نفوذ سیال گرمابی در گسترش پهنه‌های دگرسانی در منطقه این ذخیره تشخیص داده شد. از جمله دگرسانی‌های قابل تشخیص در این ذخیره می‌توان به دگرسانی‌های پروپیلیتی، سیلیسی و فیلیک اشاره کرد. بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، دگرسانی-های پروپیلیتی، سیلیسی و فیلیک مربوط به نفوذ سیال‌های گرمابی در مراحل اول و دوم بوده و با رگه- رگچه‌های کوارتزی- اکسیدی- سولفیدی (مگنتیت + کالکوپیریت) و کوارتزی- سولفیدی- اکسیدی (کالکوپیریت + پیریت + مگنتیت) در ارتباط هستند. دگرسانی کربناتی در ارتباط با مرحله سوم نفوذ سیال‌های گرمابی با خاستگاه بیشتر جوی و رگه- رگچه‌های کربناتی دیده می‌شود.

جدول۱ نتایج تجزیه پراش پرتو X (XRD) نمونه‌های پهنه دگرسانی ذخیره بلبلی۲. علائم اختصاری شامل P: پروپیلیتیک، Ph: فیلیک، و Ca: کربناتی شدن.

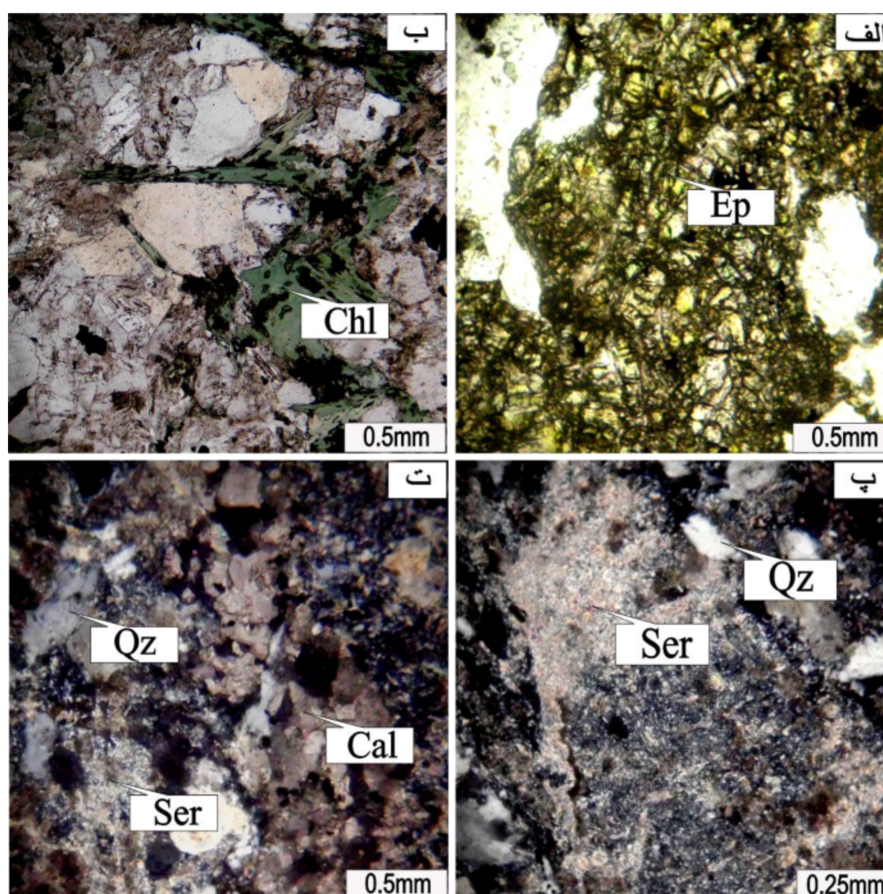
کانی	B2-6 (P)	B2-7 (P)	B2-11 (P)	B2-12 (P)	B2-13 (Ph)	MB2-3 (Ph)	MB2-4 (P)	MB2-6 (Ph)	MB2-15 (Ca)
کوارتز	*	*	*	*	*	*	*	*	*
کلسیت	*	*			*	*	*	*	*
مسکوویت					*	*		*	
اپیدوت			*						
تیتانیت			*						
کلریت	*	*		*		*	*	*	
آلبیت	کم	کم		کم		کم	کم	*	
کائولینیت							*		*
پیریت					*			*	*
سیدریت									*
دولومیت									*
آنکریت									*
دیوپسید		*							
آندزین	*						*		
هورنبلند	*								
انستاتیت					*				

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.5.7]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.329]

بر اساس بررسی‌های انجام شده در لبه رگه‌های یاد شده، دگرسانی سیلیسی در بخش‌های عمیق‌تر با دور شدن از رگه-رگچه‌ها به ترتیب به دگرسانی فیلیک و سریسیتی و در بخش-های کم عمق و سطحی به دگرسانی پروپیلیتی (با گسترشی حدود چند صد متر) تغییر می‌کند. بر اساس مشاهدات صحرایی و بررسی‌های انجام شده بر مغزه‌های حفاری، بیشترین گسترش دگرسانی پروپیلیتی در بخش‌های سطحی و کم عمق توده گرانودیوریتی و واحدهای خروجی در برگیرنده ذخیره است. این دگرسانی ناشی از جانشینی اپیدوت و کلسیت به جای پلاژیوکلاز، و اپیدوت، کلسیت و کلریت به جای کانی‌های تیره (چون هورنبلند) در سنگ‌های میزبان است (شکل‌های ۳ الف و ب). مهمترین مشخصه دگرسانی سریسیتی جانشینی مسکوویت ریز بلور و کوارتز به جای فلدسپار در سنگ‌های میزبان است (شکل ۳ پ). دگرسانی کربناتی با حضور کانی‌های کلسیت و دولومیت قابل تشخیص است (شکل ۳ ت). کربناتی شدن در ارتباط با رگه- رگچه‌های کربناتی دربردارنده سولفید مربوط به مرحله سوم تزریق سیال‌های گرمابی بوده که از این نظر آشکارا از دگرسانی پروپیلیتی قابل تفکیک است. رخداد رگه-رگچه‌های کربناتی و دگرسانی همراه نشانگر ورود هر چه بیشتر سیال‌های جوی به سیستم گرمابی است.

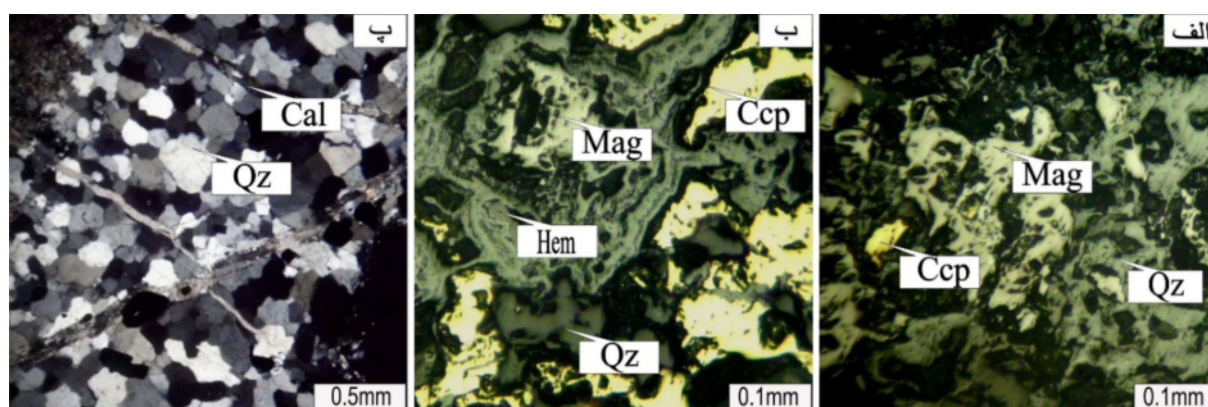
کانه‌سازی

کانه‌سازی در منطقه ذخیره بلبلی۲ اغلب به صورت درونزاد و به طور محدود به صورت برونزاد رخ داده است. نفوذ سیال‌های گرمابی مرحله اول با شکل‌گیری رگه- رگچه‌های کوارتزی-اکسیدی - سولفیدی با بافت دانه ای همراه بوده است. در این رگه- رگچه‌ها، کالکوپیریت به طور محدود دیده می‌شود. کانی اکسیدی این مرحله مگنتیت است (شکل ۴ الف). تشکیل رگه-رگچه‌های کوارتزی- سولفیدی- اکسیدی با بافت رگه- رگچه‌ای داربستی، انتشاری، دانه ای، موزائیکی و قشرگون (شکل ۵) در ارتباط با تزریق سیال‌های گرمابی مرحله دوم است.

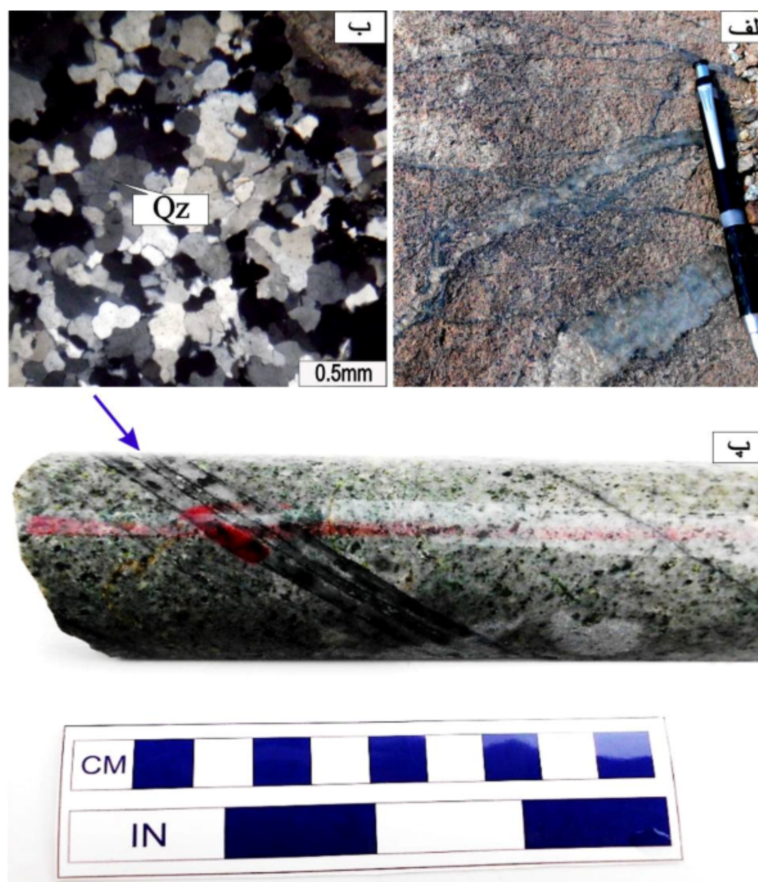


شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی نشانگر الف و ب) دگرسانی پروپیلیتی با حضور اپیدوت (Ep) و کلریت (Chl) در قطبیده صفحه‌ای، نور ppl، پ) دگرسانی فیلیک با حضور کوارتز (Qz) و سریسیت (Ser) در نور قطبیده متقاطع، xpl. و ت) کربناتی شدن با حضور کلسیت (Cal) و تشکیل دگرسانی کربناتی در نور xpl. علائم اختصاری برگرفته از مرجع [۱۶] هستند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.5.7]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.329]



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی نشانگر الف) همراهی مقادیر اندک کالکوپیریت با مگنتیت در رگچه‌های کوارتزی- اکسیدی- سولفیدی (نور ppl)، ب) حضور مقداری مگنتیت با کالکوپیریت در رگه- رگچه‌های کوارتزی- سولفیدی- اکسیدی و پ: قطع شدن رگه- رگچه‌های کوارتزی توسط رگه- رگچه‌های کربناتی در مراحل پایانی تزریق سیال‌های گرمابی در ذخیره بلبلی۲. علائم اختصاری به کار رفته عبارتند از Qz: کوارتز، Hem: هماتیت، Cal: کلسیت، Ccp: کالکوپیریت و Mag: مگنتیت.



شکل ۵ انواع بافت‌های رگه- رگچه‌های کوارتزی در ذخیره بلبلی۲: الف) بافت داربستی، ب) بافت دانه ای وپ: بافت قشرگون (Qz = کوارتز).

بافت‌های مشابهی از چنین رگه- رگچه‌ها در کانسار مس پورفیری تخت‌گنبد (در ۳/۴ کیلومتر شمال‌شرق ذخیره مورد بررسی) گزارش شده است [۸]. کانه‌زایی این مرحله شامل کالکوپیریت، پیریت و مگنتیت است (شکل ۴ ب). رگه- رگچه‌های کربناتی که فرآورده مرحله سوم نفوذ سیال‌ها هستند، سایر رگه- رگچه‌های کانه‌دار را قطع کرده‌اند (شکل ۴ پ). این رگه- رگچه‌ها با دگرسانی کربناتی ناشی از سیال‌های گرمابی مرحله سوم همراهی می‌شوند. کالکوپیریت تنها کانی سولفیدی

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.5.7]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.329]

کمیاب این مرحله از کانی‌سازی است. تشکیل سیدریت از ویژگی‌های این مرحله از کانی‌سازی محسوب می‌شود که بیانگر گذر سیال به سمت شرایط قلیایی است. بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، کانی‌سازی مس در ارتباط با مراحل اول و دوم کانی‌سازی در ذخیره بلبلی۲ رخ داده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که ضخامت رگه- رگچه‌های کوارتزی و کربناتی از یک میلی‌متر (شکل ۴ پ) تا چند سانتی‌متر (شکل ۵ پ) متغیر هستند. در بخش‌های سطحی در شرایط برونزاد، کانی‌های سولفیدی گرمابی توسط کانی‌های ثانویه برونزاد جایگزین شده‌اند. از جمله کانی‌های ثانویه می‌توان به هماتیت و گوتیت با بافت جانشینی لبه‌ای اشاره کرد (شکل ۴ ب). سولفیدهای اولیه اغلب به صورت جزایری توسط اکسیدها و هیدرواکسیدهای ثانویه آهن احاطه شده‌اند (شکل ۴ ب). کانی‌های سولفیدی برونزاد چون بورنیت به صورت محدود دیده می‌شوند. در منطقه ذخیره مورد بررسی، پهنه برونزاد گسترش چندانی ندارد. در بخش جنوب‌شرقی ذخیره، در نزدیکی یک شکستگی با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب، یک پهنه اکسیدی- کربناتی دیده می‌شود که به احتمال بسیار برآمده از رخداد دگرسانی گرمابی کربناتی (کلسیت، دولومیت، سیدریت و آنکریت) و آثار بعدی فرآیندهای برونزاد ثانویه است. شکل ۶ همبرزایی کانیایی ذخیره بلبلی ۲ را نشان می‌دهد.

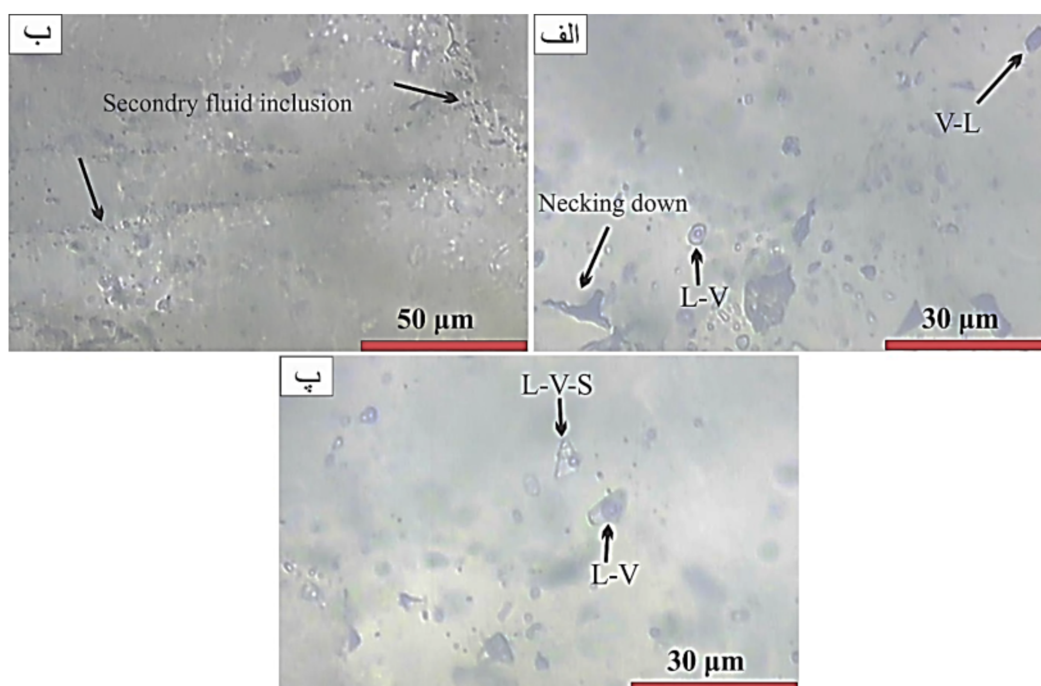
بررسی میانبارهای سیال

بررسی‌های میکروسکوپی بر ۱۰ نمونه نشان می‌دهند که باطله کوارتز همراه رگه- رگچه‌های کوارتزی- سولفیدی- اکسیدی (بیشتر مربوط به مرحله دوم کانی‌سازی) برای بررسی میانبارهای سیال مناسب هستند. رگچه‌های تشکیل شده در مرحله اول کانی‌سازی به علت ضخامت کم برای بررسی میانبارهای سیال مناسب نیستند. با توجه به بررسی‌های سنگ‌نگاری انجام شده، ۳ نمونه دوبر صیقل شرایط مناسب برای ریزدماسنجی را دارا هستند؛ از این رو تعداد ۶۸ میانبار سیال از آنها ریزدماسنجی شدند. بررسی‌های سنگ‌نگاری به منظور تعیین انواع میانبارها (اولیه و ثانویه)، رده‌بندی زایشی، تهیه تصاویر مناسب و بررسی ریزدماسنجی انجام شد.

سنگ‌نگاری میانبارهای سیال: بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که میانبارهای موجود در بلورهای کوارتز همزاد با رگه- رگچه‌های کانه‌دار از نوع اولیه و ثانویه هستند. اندازه میانبارهای اولیه از ۸ تا ۱۵ میکرون متغیر بوده و پدیده باریک‌شدگی در برخی از آنها قابل تشخیص است (شکل ۷ الف). اندازه بزرگ، توزیع ناهمگن، نسبت‌های فازی مشابه [۱۷، ۱۸] و نبود آرایه خطی وجه تشخیص میانبارهای اولیه از ثانویه بودند. میانبارهای ثانویه با توجه به آرایه‌های خطی و قرارگیری در راستای شکستگی‌ها و اندازه کوچک [۱۷] تشخیص داده شدند (شکل ۷ ب). بر اساس مقدار هر فاز، میانبارهای سیال اولیه در ذخیره بلبلی۲ به چهار نوع قابل تفکیک هستند:

کانی	سنگ میزبان	کانی‌سازی درونزاد			کانی‌سازی برونزاد
		مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	
پلاژیوکلاز	▬				
هورنبلند	▬				
بیوتیت	▬				
کوارتز	▬	▬	▬		
سریسیت		▬	▬		
اپیدوت		▬	▬		
کلریت		▬	▬		
مگنتیت		▬	▬		
کالکوپیریت		▬	▬	▬	
پیریت		▬	▬	▬	
کلسیت		▬		▬	
دولومیت				▬	
سیدریت				▬	
آنکریت				▬	
بورنیت					▬
مالاکیت- آزوریت					▬
هماتیت		▬ ؟			▬
گوتیت					▬

شکل ۶ توالی همبری کانیایی (کانسنگ و باطله) برای ذخیره بلبلی۲.



شکل ۷ انواع میانبارهای سیال در رگه- رگچه‌های ذخیره بلبلی۲. الف: میانبارهای L-V و V-L، ب) میانبارهای ثانویه ریز با روندهای خطی و پ) میانبارهای نوع L-V-S همزاد با نوع L-V و V-L.

۱- میانبار سیال دو فازی غنی از مایع (نوع L-V) (شکل‌های ۷ الف و پ): این میانبارها اغلب درجه پرشدگی ۷۰ تا ۸۰ درصد و گاهی بیش از ۸۰ درصد را نشان می‌دهند.

۲- میانبار سیال دو فازی غنی از گاز (نوع V-L) (شکل ۷ الف): در این میانبارها، حباب گاز بیش از ۸۰ الی ۹۰ درصد فضای موجود را اشغال کرده است. به علت اشغال شدن حجم قابل توجهی از این میانبارها توسط فاز گازی، دمای همگنی در این نوع میانبارها تعیین نشد.

۳- میانبارهای سیال سه فازی هالیت‌دار (نوع L-V-S) (شکل ۷ پ): این نوع میانبارها به واسطه حضور سه فاز مایع، گاز و جامد مشخص می‌شوند. درجه پرشدگی مربوط به این میانبارها اغلب ۷۰ الی ۸۰ درصد است. فاز نوزاد جامد همراه با این نوع میانبارها هالیت است.

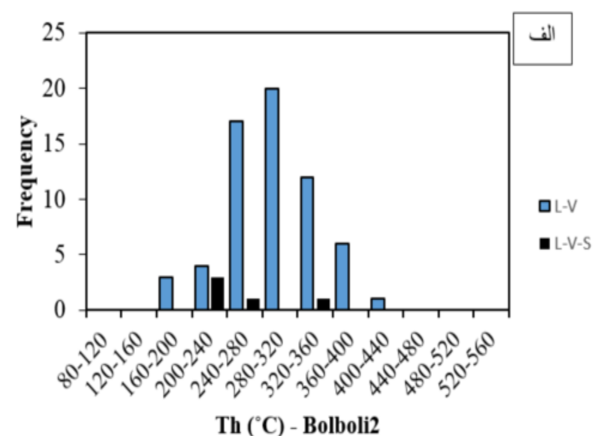
۴- میانبارهای سیال تک فاز گازی (V): این میانبارها سیاه رنگ هستند و به همراه میانبارهای نوع V-L و L-V-S در بلور میزبان حضور دارند. حباب گاز بیش از ۹۰ فضای موجود را اشغال کرده است.

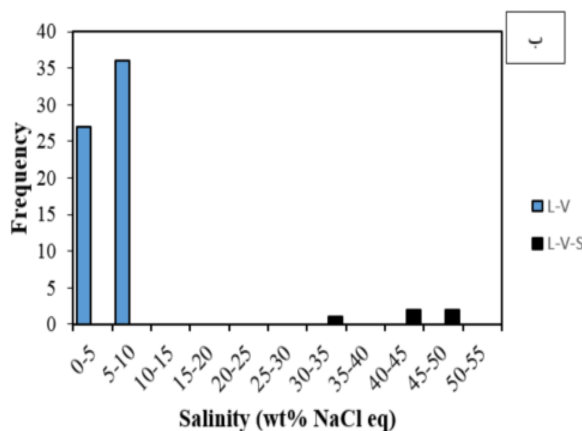
بررسی‌های ریزدماسنجی: بررسی‌های ریزدماسنجی در دو مرحله سرمایش و گرمایش انجام شد. در مرحله سرمایش، نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که آخرین دمای ذوب یخ (Tm_{ice}) برای میانبارهای L-V در گستره ۰٫۵- تا ۶- درجه سانتی‌گراد بوده که معادل با شوری‌های در گستره ۹٫۴- ۰٫۶ درصد معادل نمک طعام هستند (شکل ۸ ب). با توجه به جدول ۲، گستره دمایی انحلال هالیت (Ts) برای میانبارهای نوع L-V-S در گستره ۲۱۳ تا ۴۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده که معادل شوری‌هایی در گستره ۵۰- ۳۲٫۱۱ درصد معادل نمک طعام هستند (شکل ۸ ب). ذوب هالیت در اغلب میانبارهای L-V-S پس از همگن شدن فاز مایع و گاز روی داده که بیانگر فوق اشباع بودن سیال کانی‌ساز در زمان به دام افتادن است. با توجه به گستره دمایی، Te، (۳۰- تا ۴۰- درجه سانتی‌گراد) می‌توان چنین گفت که سیال‌های کانه‌ساز افزون بر فاز NaCl، دربردارنده مقادیر بسیار کمی از نمک‌های محلول دیگر چون $FeCl_2$ و $MgCl_2$ نیز بوده‌اند.

در مرحله گرمایش، تقریباً همه میانبارهای دوفازی غنی از مایع (L-V) به فاز مایع همگن شده و دماهای همگن شدگی (Th) آنها در گستره ۴۲۷- ۲۰۸ درجه سانتی‌گراد قرار دارد [۱۹] (شکل ۸ الف). از میانبارهای نوع سه فازی هالیت‌دار (L-V-S)، چهار مورد از آنها با ناپدید شدن فاز جامد (هالیت) همگن شدند ($Th_{(L-V)}<Ts_{(NaCL)}$) و تنها یکی از آنها با ناپدید شدن فاز بخار همگن گردید ($Th_{(L-V)}>Ts_{(NaCL)}$). بر اساس مقادیر $Ts_{(NaCL)}$ به دست آمده، شوری‌های تعیین شده (براساس مرجع [۱۹]) برای این نوع میانبارها در گستره ۵۰- ۳۲ درصد قرار دارد (شکل ۸ الف).

جدول ۲ نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال در رگه- رگچه‌های کوارتزی ذخیره بلبلی۲.

نمونه	کانی	نوع میانبار		Th Range (°C)	$Tm_{(NaCl)}$ range (°C)	Te (°C)	Tm_{ice} (°C)	Salinity (wt% NaCl Eq)
MB2-15	کوارتز	اولیه	L-V (n = ۲۳)	۲۰۸-۳۴۵	-	-۴۰ تا -۳۰	-۶ تا -۰٫۵	۰٫۹۹ تا ۹٫۴
			L-V-S (n = ۴)	۳۱۵-۴۰۰	۲۱۳-۴۲۵		-	۳۲٫۱۱ تا ۵۰
MB2-14	کوارتز	اولیه	L-V (n = ۲۳)	(n = ۲۳) ۲۱۵-۴۲۷	-	-۴۰ تا -۳۰	-۵٫۵ تا -۰٫۸	۱٫۱۹ تا ۸٫۷
			L-V-S (n = ۱)	۲۳۰	۴۱۰		-	۴۸
MB2-7	کوارتز	اولیه	L-V (n = ۱۷)	۱۹۰-۴۰۰	-	-۴۰ تا -۳۰	-۳ تا -۱	۰٫۶ تا ۶٫۰۲



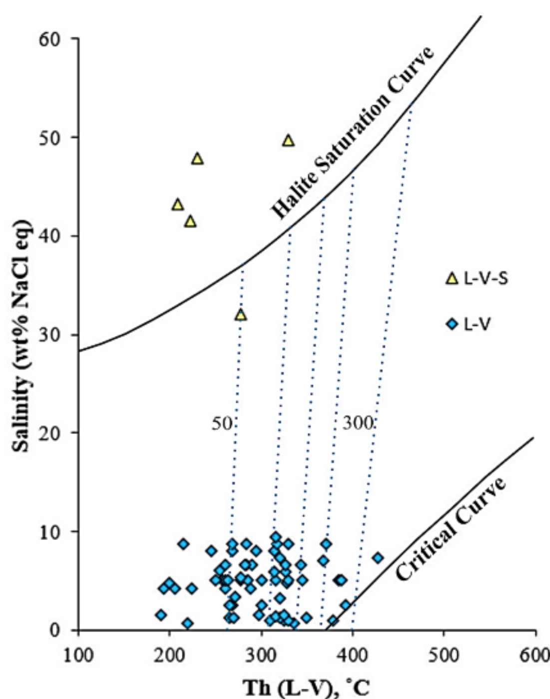


شکل ۸ نمودار ستونی توزیع فراوانی الف) دمای همگنی، و ب) شوری در رگه- رگچه‌های کوارتزی- سولفیدی- اکسیدی ذخیره بلبلی۲.

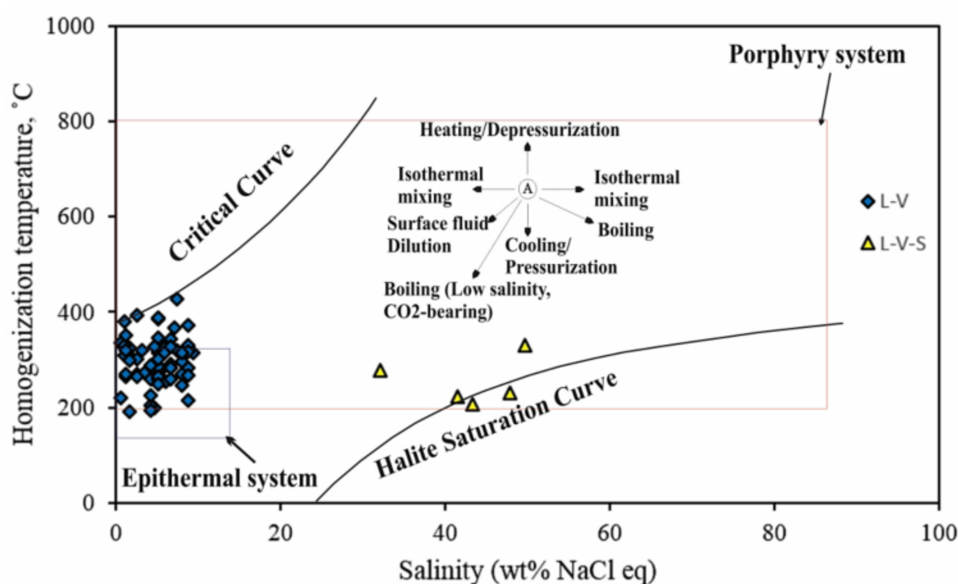
بر اساس یافته‌های ریزدماسنجی، دو نوع از میانبارهای مورد بررسی (یعنی انواع L-V و L-V-S) نماینده دو جمعیت متفاوت را از نظر دمای همگن شدگی و شوری هستند. در واقع، می‌توان چنین گفت که میانبارهای سه فازی (L-V-S) که شوری و دمای بالایی را نشان می‌دهند، در مرحله‌ای از روند تکاملی سیال‌های کانه‌دار به تله افتادند که این سیال ها دچار جوشش شده بودند. حضور میانبارهای دو فازی V-L و تک فازی گازی (V) کنار آنها خود می‌تواند این امر را تائید کند. در این مرحله، شوری سیال های کانه‌ساز که به احتمال بسیار دارای خاستگاه ماگمایی با شوری اولیه حدود ۵٪ هستند در اثر جوشش به بیش از ۴۰٪ افزایش یافته است [۲۰]. از طرف دیگر، افزون بر میانبارهای دو فازی با دمای همگنی بالا، وجود میانبارهای دو فازی غنی از مایع (L-V) با شوری و دمای همگن شدگی به نسبت پائین می‌تواند بیانگر مرحله بعدی کانه زایی باشد که طی آن، سیال های کانه ساز به احتمال بسیار سرد شدگی معمول و مخلوط شدگی با آب‌های زیرزمینی (با دما و شوری پائین) را تجربه کرده‌اند. برای مشاهده روند تکاملی سیال های کانه‌دار و تعیین فشار در زمان محبوس شدن، از نمودار شوری نسبت به دمای همگنی (شکل ۹) استفاده شد. برپایه این نمودار و شکل ۱۰، نقاط مربوط به یافته‌های میانبارهای سیال مورد بررسی روندی مشابه پدیده جوشش، سرد شدن ساده و آمیختگی با سیال های دارای دما و شوری پائین‌تر دارند. این روندهای تکاملی در سیال های کانه‌ساز می‌توانند تا حدی مشابه شاخص‌های میانبارهای سیال ذخایر مس پورفیری باشند [۱۷، ۲۰]. یافته‌های مربوط به میانبارهای مورد بررسی تا حدی مشابه با یافته‌های ریزدماسنجی گزارش شده برای رگچه‌های کوارتزی کانه‌دار ذخیره مس پورفیری علی‌جواد (استان آذربایجان‌شرقی) درکمربند مس پورفیری ارسباران [۲۱]، رگچه‌های کوارتزی کانسار سونگون اهر (استان آذربایجان‌شرقی) [۲۲]، رگه- رگچه‌های کوارتزی- سولفیدی دربردارنده Cu-Mo-Au در ناحیه قره‌چیلر (استان آذربایجان شرقی) [۱۸] و کانسار مس پورفیری تخت‌گنبد سیرجان (استان کرمان) [۸] هستند. تفاوت عمده ذخیره بلبلی۲ با ذخایر یاد شده در این است که دگرسانی‌های همراه رگه- رگچه‌های مورد بررسی بیشتر از نوع سریسیتی و پروپیلیتی هستند. چنین ویژگی‌های مشابهی از

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.5.7]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.329]

رگه- رگچه‌های همراه با دگرسانی‌های سریسیتی- سیلیسی (فیلی) و پروپیلیتی برای ذخایر مس پورفیری گزارش شده است [۲۳]. بر اساس نمودار دو متغیره شوری نسبت به دمای همگنی [۲۴، ۲۵]، تعدادی از میانبارهای سه فازی شامل فاز جامد هالیت در بالای منحنی اشباع از نمک واقع شده‌اند (شکل‌های ۹ و ۱۰) که ممکن است در اثر به دام افتادن ناهمگن بلورهای بسیار ریز هالیت به همراه سیال در حال جوشش و اشباع از NaCl باشد [۲۳]. با توجه به شوری میانبارهای سیال مورد بررسی می‌توان گفت که به احتمال بسیار کمپلکس‌های کلریدی عامل مهم و اصلی انتقال فلزها در سیال های گرمابی کانی‌ساز بوده‌اند.



شکل ۹ الگوی توزیع مقدار شوری نسبت به دمای همگنی اندازه‌گیری شده برای میانبارهای سیال مورد بررسی در ذخیره بلبلی۲ در مقایسه با منحنی اشباع از نمک و منحنی بحرانی (برگرفته از [۲۳]). خطوط نقطه چین مبین فشار بخار سیال ها حاوی NaCl در دماها و شوری‌های مختلف می‌باشد [۲۴].



شکل ۱۰ توزیع میانبارهای سیال ذخیره بلبلی۲ در نمودار دو متغیره دمای همگنی در برابر شوری [۲۰، ۲۶].

برآورد عمق، فشار و چگالی میانبارهای سیال

وقتی در یک سیال گرمابی کانی‌ساز رخداد جوشش یکی از عوامل مؤثر در ته نشست فلزات باشد، می‌توان دمای همگنی را معادل دمای به دام افتادن در نظر گرفت و دیگر نیاز به تصحیح فشاری نیست [۱۷، ۲۶]. بر اساس نمودار دو متغیره دمای همگن شدن نسبت به شوری (شکل ۹)، می‌توان گفت که سیال‌های کانه‌ساز در ذخیره بلبلی۲ در گستره دمایی حدود ۳۸۰-۳۳۰ درجه سانتی‌گراد دچار جوشش نشده‌اند و به طور تقریبی فشارهای همه جانبه کمتر از ۲۵۰ بار را تجربه می‌کرده‌اند که معادل اعماقی حدود یک کیلومتر است. در واقع، سیال های کانه‌ساز در دماهای حدود ۳۲۰ درجه سانتی‌گراد پدیده جوشش را تجربه کرده‌اند که نتیجه آن به تله افتادن سیال هایی با شوری بالا بوده است. در این حالت، این سیال ها فشار هیدرواستاتیکی حدود ۱۰۰ بار را (شکل ۹ را ببینید) تجربه می‌کرده‌اند که آن هم می‌تواند معادل عمقی حدود یک کیلومتر پائین‌تر از سطح ایستابی سفره آب‌های زیرزمینی طی کانی‌سازی باشد. این عمق کانه‌زایی در ذخیره بلبلی۲ می‌تواند مشابه بسیاری از ذخایر مس پورفیری در جهان باشد [۲۵]. همچنین، بر اساس نمودار دو متغیره شوری نسبت به دمای همگن‌شدن (شکل ۱۱) [۲۰]، چگالی سیال های مسؤول کانی‌سازی در ذخیره بلبلی۲ در گستره ۰٫۵ تا ۱٫۲ تغییر می‌کند. چگالی‌های حدود ۱٫۲ مربوط به میانبارهای سیال سه فازی دربردارنده بلورهای نوزاد هالیت هستند.

برداشت

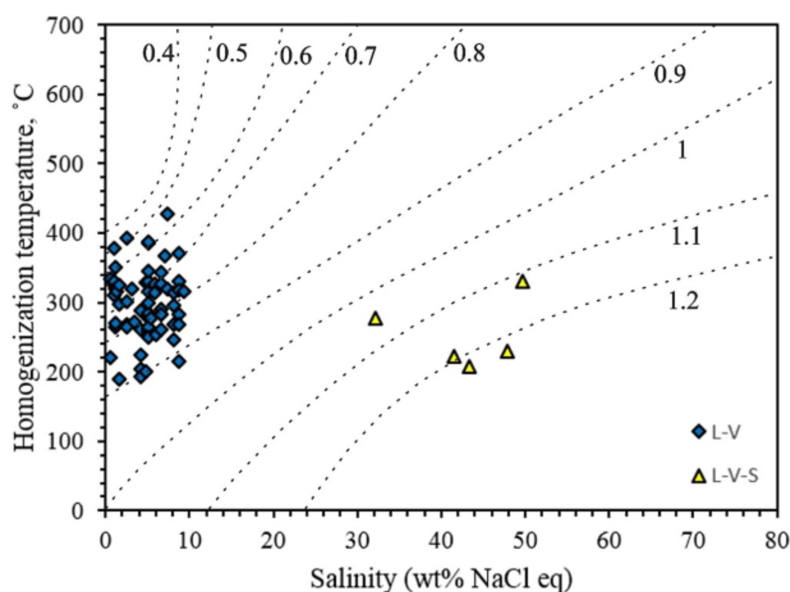
۱- کانی‌سازی درونزاد (کالکوپیریت، پیریت و مگنتیت) و برونزاد (هماتیت، گوتیت، بورنیت، مالاکیت و آزوریت) در ذخیره بلبلی۲ (جنوب غرب شهر کرمان) درون گرانودیوریت‌های الیگوسن- میوسن و واحدهای توفی، جوش آتشفشانی، آندزیتی و داسیتی وابسته به ائوسن رخ داده است.

۲- شواهد صحرایی و مشاهدات میکروسکوپی بیانگر گسترش کانی‌سازی مس در یک سامانه رگه- رگچه‌ای با بافت‌های داربستی، قشرگون، دانه ای و موزائیکی است.

۳- شواهدی چون گسترش بافت رگه- رگچه‌ای داربستی، حضور دگرسانی فیلیک، حضور میانبارهای سیال غنی از گاز، غنی از مایع و غنی از مایع شامل فاز جامد به صورت همزاد، و شوری بالای برخی از میانبارهای سیال مورد بررسی نشان می‌دهند که سیال های گرمابی در ذخیره بلبلی ۲ ماهیت ماگمایی و جوی دارند.

۴- بررسی میانبارهای سیال بیانگر رخدادهای پدیده جوشش، آمیختگی، و سردشدگی معمول به عنوان مهمترین عوامل اثر گذار طی گسترش رگه- رگچه‌های کانه‌دار در ذخیره بلبلی۲ است. با توجه به شوری بالای برخی از میانبارهای سیال مورد بررسی، کمپلکس‌های کلریدی مهمترین عامل انتقال فلزها در سیال های مسؤول کانی‌ساز بوده‌اند.

۵- بر اساس این پژوهش، ذخیره بلبلی۲ از نظر سازوکار تشکیل، گسترش و روند تکامل بیشترین شباهت را به سیستم‌های گرمابی مس پورفیری دارد.



شکل ۱۱ توزیع فراوانی داده‌های میانبارهای سیال رگه- رگچه‌های کانی‌زایی شده ذخیره بلبلی۲ در نمودار دو متغیره دمای همگنی در برابر شوری همراه با تغییرات چگالی (خطوط نقطه چین) [۲۶].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.5.7]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.329]

قدردانی

نگارندگان مقاله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه ارومیه برخودار بوده‌اند که بدین وسیله نهایت تشکر خود را از آنان اعلام می‌دارند. نگارندگان، همچنین از نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

[1] Ghorbani M., *"The economic Geology in Iran: Mineral Deposits and Natural Resources",* Springer Science Business Media, Dordrecht (2013) 1-581.

[2] Shafiei B., *"Two distinct occurrences in Palaeogene magmatic of Cenozoic magmatic arc of the Kerman: Geochemical characteristics and rock-forming processes",* Journal of Sciences, University of Tehran 36 (2010) 137-156 (in Persian).

[3] Dimitrijevic M. D., "*1:100000 geological map of the Chahar Gonbad*", Geological Survey of Iran (1973).

[4] Atapour H., Aftabi A., "*Geochemistry and metallogeny of calc-alkaline, shoshonitic and adakitic igneous rocks associated with porphyry Cu-Mo and vein type deposits of Dehaj-Sarduieh volcano-plutonic belt, Kerman*", Geosciences 18 (2009) 161-172 (in Persian).

[5] Atapour H., "*Petrography and geochemistry of shoshonites of Ghode-e-Biabani area of the Bardsir*", MSc Thesis, University of Shahid Bahonar, Kerman, Iran (1993) 1-294 (in Persian).

[6] Aftabi A., Atapour H., *"Regional aspects of shoshonitic volcanism in Iran",* Episodes 23 (2000) 119-125.

[7] Nedimovic R.,*"Eploration for ore deposits in Kerman Region"*, Geological Survey of Iran, Report No.53 (1973) 274p.

[8] Hosseini, M., Ghaderi, M., Alirezaei S., *"Types of vein-veinlet systems and their relationship with mineralization in the Takht-e-Gonbad ore deposit, northeast of Sirjan*", 15th Symposium of Iranian Geological Association, Teacher Training University of Tehran (2011).

[9] Chahar-Ghonbad Mining Company, *"Geology and Semi-detailed explorations of the Bolboli ore deposit*", (2010-2013) 1-200 (in Persian).

[10] Khan-Nazer N. H., "*Geological map of the Chahar-Ghonbad (1:100000 scale)*", Geological Survey of Iran (1994).

[11] Fazlnia A., "*Petrography and petrology of the Chahar-Ghonbad intrusive masses*", MSc Thesis, University of Shahid Bahonar, Kerman, Iran (2000) 1-180 (in Persian).

[12] Anssary A. H., Sheikh Zakariaii S. J., Dargahi S., Arvin M., "*Petrology and Geochemical properties of the Granitoid Complex of the Chahar-Gonbad, Southeast Iran"*, Open Journal of Geology 7 (2017) 847-858.

[13] Moeinvaziri H., Ahmadi, A., "*Petrology and petrography of igneous rocks"*, Publications of Teacher Training University of Tehran (2011) 1-547 (in Persian).

[14] Ishihara S.,*"The Granitoid Series and Mineralization"*, Economic Geology, 75Th Anniversary Volume (1981) 458-484.

[15] Shahabpour J., *"Economic Geology"*, Publications of Shahid Bahonar University of the Kerman (2005)1-544 (in Persian).

[16] Whitney D. W., Evans B. W., *"Abbreviations for names of rock forming minerals",* American Mineralogis 95 (2010) 185-187.

[17] Shapherd T. J., Rankin A. H., Alderton D. H. M., "*A practical guide to fluid inclusion studies*", Blackie, Glasgow (1985) 1-239.

[18] Simmonds V., Moazzen M., *"Fluid inclusion studies on Cu-Mo-Au bearing quartz-sulfide veins and veinlets in Qarachilar area, Qaradagh Pluton (NW Iran)"*, Periodico di Mineralogia 85 (2016) 261-276.

[19] Bodnar R. J., *"Revised equation and table for determining the freezing point depression of* H_2O*-NaCl soulations"*, Geochimica et Cosmochimica Acta 57 (1993) 683-684.

[20] Wilkinson J. J., "*Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits*", Lithos 55 (2001) 229-272.

[21] Hajalilou B., Aghazadeh M., *"Fluid inclusion studies on quartz veinlets at the Ali Javad porphyry copper-gold deposit, Arasbaran, Northwestern Iran"*, Journal of Geoscience and Environment Protection 4 (2016) 80-91.

[22] Calagari A. A., *"Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, East-Azarbaidjan, Iran"*, Journal of Asian Earth Sciences 23 (2004) 179-189.

[23] Bodnar R. J., Lecumberrii Sanchez P., Moncada D., Steele-Maclnnis M., "*Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits"*, Treatise on Geochemistry, Second Edition 13 (2014) 119-142.

[24] Ahmad S. N., Rose A. W., *"Fluid inclusion in porphyry and skarn ore at New Miexico"*, Economic Geology 75 (1980) 229-250.

[25] Roedder E., *"Fluid inclusion"*, Mineralogy Society of America, Review in mineralogy 12 (1984) 1-644.

[26] Roedder E., Bodnar R. J., "*Geologic pressure determinations from fluid inclusions studies*", Earth and Planetary Science Letters 8 (1980) 263-301.